



HAL
open science

A teoria da relatividade de Einstein como exemplo de criação científica

Michel Paty

► **To cite this version:**

Michel Paty. A teoria da relatividade de Einstein como exemplo de criação científica. 3^o Encontro da Rede Paranaense de Pesquisa em História e Filosofia da Ciência, Curitiba (Paraná), Mar 2005, Brazil. pp.P.157-178. halshs-00184600

HAL Id: halshs-00184600

<https://shs.hal.science/halshs-00184600>

Submitted on 31 Oct 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

in Barra, E. et al. (eds), *Anais do 3º Encontro da Rede Paranaense de Pesquisa em História e Filosofia da Ciência*, Curitiba (Paraná), SCHLA/UFPR, 2005, CD-Rom, p. 157-178.

A teoria da relatividade de Einstein como exemplo de criação científica¹

Michel PATY

Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS); Equipe REHSEIS; Université Paris 7; Departamento de Filosofia/USP

RESUMO: Propomos uma introdução ao tema da “filosofia da criação científica” tomando o caso da descoberta, ou melhor, da invenção da nova teoria da relatividade (restrita e geral) por Einstein no início do século XX. Este caso é particularmente adequado para conceber como novas idéias como estas, que deviam transformar a física, fizeram sua aparição no campo do conhecimento no decorrer de um processo mental dentro de um sujeito singular, guiado em suas questões pela preocupação pelo inteligível, concebido como sendo acessível através da racionalidade. Einstein ele mesmo estava consciente de que tais processos de formação de formas e de conteúdos novos de conhecimento correspondem literalmente a “criações pela mente”, além de, ao mesmo tempo, serem elementos objetivos de uma representação do mundo. Na sua filosofia do conhecimento, ele baseava sua concepção da descoberta e da invenção científica, concebidas como um processo criador, sobre a “livre escolha” de conceitos e idéias teóricas por parte do pensamento (sua concepção, a este respeito, era parente daquela do matemático e físico Henri Poincaré). Essa “liberdade lógica” com relação aos dados factuais se estabelece, na sua perspectiva, sobre a crítica humeana da indução, sobre a recusa do empirismo puro e sobre uma concepção da inteligibilidade racional tributária de Kant, ao mesmo tempo em que sobre a crítica do apriorismo kantiano.

PALAVRAS-CHAVE: criação científica; epistemologia; filosofia; física; racionalidade; relatividade.

¹ Conferência baseada em argumentos apresentados no artigo “A criação científica segundo Poincaré e Einstein”, tradução de Sérgio Alcides, *Estudos Avançados* (São Paulo, Br), 15, nº 41 (jan-abr.), 2001, 157-192. Reproduzo aqui, para os *Anais do Encontro*, com algumas modificações, extratos deste artigo concernentes a Einstein, conforme o título da palestra.

O conhecimento científico é geralmente estudado pelos filósofos através da consideração (no melhor dos casos) das proposições da ciência estabelecida, na sua verdade parcial e provisória, no seu valor de verdade pela sua submissão aos testes experimentais (para as ciências da natureza), na estrutura das suas teorias, nos conteúdos “semânticos” de seus conceitos... Raramente, ele é considerado nos processos de sua elaboração, onde ele se apresenta na diversidade e, muitas vezes, na precariedade e na instabilidade de suas elaborações. As tendências dominantes da filosofia do século XX excluía de fato a descoberta e a invenção científica do campo legítimo das investigações da filosofia do conhecimento (veja, em particular, Reichenbach [1938], Popper [1935, 1972]). Porém, estudos de casos, o testemunho de alguns cientistas-filósofos do século passado e suas tentativas de auto-análise dos seus próprios processos de pensamento, fornecem elementos precisos que nos permitem enfrentar esta proibição consensual. Tudo mostra, com efeito, que o pensamento criativo de novas idéias científicas não escapa, numa parte bem significativa, do campo do pensamento racional. Sem estudar aqui este problema na sua generalidade (“é possível uma filosofia da criação científica?”), contentaremos aqui em tomar como estudos de casos dois momentos de aparição de novos conhecimentos como efeito de criação científica, casos acerca dos quais existem dados bastante seguros que nos permitem acompanhar os processos de pensamento e remetê-los a uma procura de caráter racional: as invenções, pelo físico Albert Einstein, das teorias da relatividade restrita e geral. Depois da descrição destes casos nítidos de criação, evocaremos as próprias concepções de Einstein sobre os processos do pensamento e sobre o problema da criação científica, considerado filosoficamente. Concluiremos apelando à filosofia para que retome em toda a sua extensão este tema de tamanha

importância, que foi indevidamente deixado de lado e, com ele, toda uma dimensão fundamental do pensamento e da atividade científica.

Criação científica ao vivo: Einstein e a teoria da relatividade restrita

Einstein formulou sua teoria da relatividade em dois momentos, que correspondem a duas formas, a teoria da relatividade restrita, alcançada em 1905 (mas “ruminada” ao longo de quase dez anos), e a teoria da relatividade geral, cuja primeira idéia lhe ocorreu em 1907, e que foi apresentada em sua forma acabada em 1915.² Essas duas etapas de sua teoria, que correspondem de fato a duas teorias distintas, ainda que a segunda possa ser vista como um prolongamento ou uma radicalização da primeira, constituem *invenções científicas* no pleno sentido da expressão. Não pretendemos aqui analisá-las completamente, enquanto tais, dando conta do processo de sua gênese em toda a sua complexidade: seria tarefa difícil, quiçá impossível, se a pretendêssemos; seria exaustiva, e os aspectos psicológicos, em particular, permaneceriam inacessíveis. Limitar-nos-emos a investigar aí os elementos significativos da racionalidade própria a esse trabalho do pensamento, bem como o “salto lógico” que constitui a criação científica³.

A criação, mesmo quando ocorre no domínio científico, transcende a racionalidade linear tanto quanto a lógica, e mesmo

² Os textos fundadores dessas teorias foram republicados na edição crítica das obras completas de Einstein atualmente disponível: Einstein [1987-1998], vols. 2, 3, 7. Para uma tradução francesa dos textos principais, ver Einstein [1989-1993], vols. 2, 3. Consulte-se ainda a correspondência, distribuída em vários volumes dessas edições.

³ Paralelamente ao trabalho de Einstein sobre o que ia ser chamado posteriormente a teoria da relatividade restrita, assinalamos as contribuições de H.A. Lorentz em 1904 e de H. Poincaré em 1905, próximas pelos seus resultados do trabalho de Einstein, mas diferentes por várias implicações fundamentais: em particular as teorias de Lorentz e de Poincaré correspondem a uma dinâmica electromagnética, e deixam de lado a questão dos conceitos de tempo e espaço na sua generalidade (não há confronto entre estes conceitos na sua forma na

somente a partir dos pontos de vista filosófico ou epistemológico, não devemos nos ater a estas da maneira como as poderíamos reconstituir depois – com todos os sedimentos de interpretações e reestruturações teóricas. O aporte do trabalho de Einstein nos dois casos era, tal como os problemas que ele estudava, de natureza racional, como o foi também a sua resposta particular (e o mesmo vale, em geral, para as invenções científicas de outros pesquisadores). Toda a questão está em saber se o caminho da criação que vai da formulação do problema até sua solução é também, e até que ponto, dessa natureza, bem como se é possível seguir o fio dessa racionalidade.

No que diz respeito à gênese da relatividade restrita, da qual sabemos ter sido elaborada a partir de dificuldades da teoria eletromagnética, ainda que seu aporte tenha mais tarde ultrapassado essa teoria em particular, o próprio Einstein apresentou diversas vezes preciosas indicações, não exaustivas, mas coerentes entre si. Em suas “Notas autobiográficas”, redigidas em 1946, ele indica como “na época em que [ele] era estudante, o tema que mais [o] fascinava era sem dúvida a teoria de Maxwell”.⁴ Desde seu segundo ano no *Polytechnicum* de Zurique, ele “reencontr[ou] o problema da luz, do éter e do movimento da Terra”, problema que nunca mais o abandonaria. Também se sabe, através de outra reminiscência, mais antiga e de difusão restrita (trata-se de uma conferência pronunciada em 1922, em Kioto, no curso de sua viagem ao Japão, e só publicada em inglês há bem pouco tempo), como lhe ocorreu a idéia da teoria da relatividade. “Foi há cerca de dezessete anos”, declarou ele em 1922, “que a idéia de tentar desenvolver o princípio da relatividade me ocorreu ao espírito”.⁵ Essa idéia originou-se “no problema da ótica dos corpos em

dinâmica electromagnética e na mecânica clássica). Veja Paty [1993a], chap 2, 3, Paty [1996a, 2005].

⁴ Einstein [1946], p. 32. Ela devia seu caráter revolucionário, comenta Einstein, ao fato de fazer a passagem da idéia de ação à distância à de campo.

movimento”. Tratava-se do problema do éter e da possibilidade de demonstrar o movimento da Terra com relação a este.

Dispomos, além disso, de alguns raros testemunhos contemporâneos diretos, através de cartas a amigos guardadas ou redescobertas, que confirmam essa preocupação: podemos acompanhar nessa correspondência, a partir de setembro de 1899, a Mileva Maric, sua futura esposa, depois em 1901 a seu colega Marcel Grossmann, em seguida a Michele Besso, o amigo do *Bureau des brevets*, o interesse constante de Einstein pelos problemas que o conduziram à teoria da relatividade restrita em 1905.⁶ Aludindo mais tarde a esse período, ele ressaltaria a convicção que tinha na época de que, em face dos problemas da eletrodinâmica, “somente a descoberta de um *princípio formal* para o movimento”, a exemplo da termodinâmica, poderia conduzir “a resultados seguros”.⁷

Também sabemos que um fenômeno físico específico tem um lugar estratégico na reflexão e no encaminhamento das idéias de Einstein: “O fenômeno da *indução eletromagnética* me permite formular o postulado de um princípio de relatividade (restrita)”.⁸ A importância desse fenômeno em seu pensamento é confirmada por outros textos:⁹ ele constitui uma espécie de arquétipo da relação entre os fenômenos eletromagnéticos e a relatividade dos movimentos. Em resumo, o campo magnético e o campo elétrico exercem um sobre o outro uma ação recíproca cujo efeito resultante é sempre o mesmo, não importando qual dos dois é posto em movimento e qual permanece em repouso. No entanto, observou Einstein, a teoria eletromagnética então disponível – a de Maxwell e Lorenz – explicava o surgimento de uma corrente no circuito

⁵ Einstein [1922].

⁶ Einstein [1987-1998], vol. 1, Einstein & Besso [1979]. Cf. Paty [1993a], cap. 2.

⁷ Einstein [1946], grifo meu, M. P.

⁸ Einstein [1946], grifo meu, M. P.

⁹ Em particular o manuscrito Einstein [1920]. Para uma análise correspondente, ver Paty [1993a], capítulos 2 e 3.

eletromagnético fechado por dois processos diferentes segundo cada um dos casos: o éter em repouso absoluto, lugar e apoio suposto desses campos, introduzia de fato uma assimetria na natureza dos fenômenos (indução magnética num caso, força eletromotriz no outro).

“A idéia de que estivessem em jogo dois casos essencialmente distintos era para mim insuportável”, escreveu Einstein:¹⁰ não podia ser senão uma diferença de pontos de vista, e não uma diferença real. A seus olhos, a teoria tratava de *fenômenos físicos reais*, e não deveria partir de um ponto de vista particular sobre eles. Sua formulação do problema teórico estava, portanto, orientada por um programa de *objetividade* que, num certo sentido, *sobredeterminava* o seu pensamento físico em relação a uma simples preocupação com os dados empíricos e as equações (quer dizer, com aquilo que hoje é freqüentemente chamado de uma *modelização*). Mas nem por isso ela deixava de pertencer ao campo da racionalidade. O confronto entre a exigência metateórica (que, de fato, entranha a sua concepção mesma da teoria) e o estado de coisas encontrado fazia com que ele assim explicitasse duas idéias teóricas correlatas e expusesse o seu caráter fundamental: o de um princípio de *relatividade* estendido da mecânica ao eletromagnetismo, e o de uma *invariabilidade* das leis dos movimentos relativos. Não se nota aqui nada além de uma linha de raciocínio conscientemente percorrida, que estabelece as condições de uma formulação particular – original – das *dificuldades* da teoria eletromagnética:¹¹ a saber, em final de contas, o confronto entre duas proposições físicas de cunho teórico tomadas como princípios: o *princípio da relatividade* e o da *constância da velocidade da luz* (expressão, para Einstein, daquilo que a teoria eletromagnética de Maxwell tem de mais fundamental).

¹⁰ Einstein [1946].

¹¹ Sobre o que está epistemologicamente subjacente à formulação de uma “dificuldade” (e não, por exemplo, uma “anomalia”), ver Paty [1993a, 1996b].

Do confronto das duas proposições surgiu a solução, que consiste em reformar o espaço e o tempo. O fio de uma racionalidade direta já não parece suficiente, aqui, para guiar sozinho o movimento do pensamento: a *dificuldade* era de fato um *obstáculo* real, que demandava, para que se seguisse adiante, um verdadeiro salto conceitual. Einstein nada mais nos disse a esse respeito, e sem dúvida não teria sabido reproduzir exatamente a seqüência de reflexões que acompanhou a tomada de consciência da dificuldade. Não conhecemos senão o momento da saída: *o espaço e o tempo*, que servem para exprimir os fenômenos físicos e os movimentos dos corpos, deviam ser concebidos como *grandezas* plenamente *físicas*, portanto *submetidas elas mesmas aos dois princípios*, o que deveria conduzir à mudança da sua definição.

Como a reflexão de Einstein passou do enunciado da dificuldade a uma tal solução, que corresponde, de fato, à inversão do problema? Deixando de considerar os dois princípios como irreconciliáveis (a velocidade da luz, enquanto estremeamento do éter, não poderia ser a mesma em todos os referenciais de inércia, o que contrariava o princípio da relatividade), ele os admitiu como fundamentais e reconstruiu sobre eles toda a física. Ou melhor, toda a teoria do movimento enquanto tal, ou seja, toda a cinemática, e as modificações da física propriamente dita (pois não se tratava nesse momento de uma reconstrução, mas de um ajuste) viriam em seguida.

É que os dois princípios irreconciliáveis não estavam sozinhos, mas constituíam um complexo conceitual com as propriedades que os acompanhavam. O obstáculo que se erguia perante o pensamento pode ser visto como um nó de conceitos imbricados, no qual nada permite à primeira vista a identificação dos fios que possibilitam a resolução do novelo embaraçado. Somente um tipo de apreensão sintética imediata, mais intuitiva do que

analítica, deu a ver, de súbito, depois de várias semanas de esforços infrutíferos, uma via de saída, os fios a serem puxados.

Entre as propriedades que sustentavam os dois princípios, uma saltou à vista, proposição implícita que os estreitava. Einstein a indica em suas retrospectivas: era a regra de adição galileana das velocidades. A partir daí, não havia mais apenas duas, e sim três proposições que, tomadas em conjunto, eram irreconciliáveis. Tal foi o fio que permitiu o desfecho: se fosse suprimida a regra das velocidades, os dois princípios poderiam ser conciliados, mediante uma outra regra de composição a ser buscada. Era preciso ter a idéia mencionada acima da inversão de perspectiva teórica, e também pensar no espaço e no tempo como grandezas físicas, contrariamente a suas definições absolutas admitidas por Newton. Eis aí toda uma rede de reflexões, incluindo a crítica dos conceitos físicos (e a influência, entre outras, da análise de Mach), que deve ter tido um papel relevante, por meio de um apelo sintético da intuição. No trabalho teórico sobre essas grandezas, uma vez ultrapassado o obstáculo, o lugar ocupado pela questão da simultaneidade e pela crítica de seu caráter absoluto é revelador da complexidade dessas noções em conjunto, ligando-se além disso à tomada de consciência da impossibilidade de ações instantâneas à distância.

Podemos identificar com bastante precisão o que foi, em Einstein, o momento da *invenção* de sua solução (solução da dificuldade identificada), que determinou sua *descoberta* da teoria da relatividade. Esta comporta, a partir da ordenação das relações entre os conceitos físicos, e em primeiro lugar entre os espaços e os tempos, uma parte de *dedução* (as equações de transformação que fazem a passagem de um referencial de inércia a outro), depois do momento de *intuição sintética* que abriu o caminho, e a *reconstrução* das grandezas no percurso desse caminho a partir de então balizado.

Mas onde se situa o *ato* propriamente *criador*? Bem se nota que ele caracteriza *todo o movimento do pensamento*, desde a própria fixação de um alvo para si, pela escolha de suas próprias razões, através de uma *formulação dos problemas* condicionada por uma certa exigência de *inteligibilidade*, depois a *identificação das dificuldades* a superar, em seguida a formulação de um *princípio de uma solução*, até as modalidades do trabalho mais comum (no que ele tem de essencialmente demonstrativo e dedutivo) de *estabelecimento das relações* de grandezas que são o corpo da teoria. Esse trabalho de criação se utiliza do raciocínio (que não encerra apenas dedução, mas é também construtivo ao constituir os objetos) tanto quanto da *intuição*, termo pelo qual designamos aqui uma percepção (intelectual) *sintética* de um complexo de conceitos. Acrescentemos ainda que o *raciocínio*, mais explícito, e a *intuição*, concebida neste sentido, não são dois modos de pensamento em oposição, já que na escolha de seus caminhos o raciocínio é freqüentemente guiado pela intuição (o que é evidente no caso aqui estudado).

Os atos criadores da teoria da relatividade geral.

Pode-se seguir de maneira semelhante a gênese, no pensamento de Einstein, da teoria da relatividade geral como extensão do princípio da relatividade e generalização da teoria da relatividade restrita a quaisquer movimentos. A constituição de tal teoria também comporta diversas fases, que podemos retrair mais facilmente que no caso anterior. Cada uma delas foi pontuada por publicações importantes, e as reflexões e as observações do autor que acompanhavam seu andamento ou dele faziam a retrospectiva, em número bem maior, esclarecem certos aspectos característicos de seu trabalho, em particular as suas intenções programáticas.

Mas tampouco aí isto significaria que uma reconstituição completa seja possível. Se um fio de racionalidade clara corre ao

longo do trabalho de elaboração dessa teoria de um novo gênero (uma teoria das invariâncias conducente a uma espécie de geometria da gravitação), ele se perde em diversas retomadas nos nós complexos que somente uma intuição de gênio e a aquisição de uma habilidade no manejo do formalismo matemático poderiam resolver. A criação, talvez aqui mais do que em qualquer outro caso, torna-se manifesta, e Einstein tinha plena consciência disto.

A consciência desse salto explícito do pensamento criador para edificar, do início até o fim (ou quase isso) uma teoria física que parecia então radicalmente nova foi fundamental para seu pensamento físico e epistemológico. Esta consciência radicalizou sua concepção da natureza do trabalho teórico e reorientou em parte sua maneira de abordar os problemas físicos, modificando sua concepção do papel da matemática. Este exprimia a partir de então melhor que tudo, a seu ver, o salto criador necessário à representação teórica da realidade física. “É na matemática que reside o princípio criador” – chegou ele a escrever, a esse propósito.¹² No entanto, esta fase, cujo sentido não nos deve iludir (o trabalho matemático permite realizar uma *demand*a física),¹³ foi precedida por outras, em que a inteligência criadora se apoiava, mais classicamente, como a anterior, sobre um pensamento dos fenômenos, de seus princípios e conceitos.

Na origem da teoria da relatividade geral, encontravam-se duas considerações de natureza conceitual, ambas ligadas com uma crítica da inércia, propriedade fundamental dos corpos materiais e de seu movimento. A primeira concernia a natureza dos *referenciais de inércia*, animados por movimentos retilíneos e uniformes uns em relação aos outros, aos quais apenas se aplicava o princípio de relatividade da primeira teoria (*relatividade restrita* aos movimentos inerciais). A escolha desse tipo de movimento é arbitrária, observou

¹² Einstein [1933].

¹³ Ver Paty [1993a], capítulo 5.

Einstein, porque nós é que escolhemos os movimentos inerciais dentre todos aqueles que existem na natureza. Reencontra-se aqui a exigência de *objetividade* para as teorias: com essa diferença frente à anterior (a indução eletromagnética no caso da relatividade restrita), sem o apoio de qualquer evidência dada pelos fenômenos. Para Einstein, ela não deixava de corresponder a uma exigência fundamental, *filosófica*, sobre a natureza e sua representação. Seguia-se daí a necessidade de estender o princípio de relatividade a quaisquer movimentos, superando o “privilégio” concedido aos movimentos inerciais.

A outra consideração, formulada ao mesmo tempo que a primeira, tratava do conceito de *massa inercial*, que caracteriza, de fato, tal como a relatividade restrita o estabelecia, não somente os corpos mas também as trocas de energia: apesar de o laço que estabelece entre a energia e a inércia, a teoria da relatividade restrita se calava acerca da relação entre a inércia e o peso. O efeito desse questionamento foi a formulação do princípio da igualdade da massa inercial e da massa gravitacional (o “princípio de equivalência”).

Na gênese das idéias de Einstein, esta segunda razão parece ter sido a que mais suscitou a sua reflexão, fazendo com que ele tomasse consciência do caráter imperativo da primeira (todos os fenômenos podiam ser tratados no quadro da relatividade restrita, exceto a gravitação, devido à sua ligação com os movimentos acelerados). Ela se traduzia para ele numa “experiência de pensamento” (“*Gedankenexperiment*”), que ele próprio qualificou mais tarde como “o pensamento mais feliz da [sua] vida”, resumido na seguinte frase: “Se alguém cai num movimento de queda livre, ele não sente o próprio peso”.¹⁴ Isso equívale a transcrever a igualdade (a identidade) da massa inercial e da massa gravitacional

¹⁴ Einstein [1922, 1946]. Esse pensamento lhe ocorreu em novembro de 1907, segundo Abraham Pais (Pais [1982], p. 178).

numa equivalência entre um campo de gravidade, ou de gravitação, homogêneo, e um movimento uniformemente acelerado. Einstein assim se dava conta de que não se tratava tanto de incorporar o campo de gravitação à teoria da relatividade (restrita), mas sobretudo de utilizá-lo como meio de ultrapassar a covariância privilegiada dos movimentos inerciais, generalizando-a a todos os tipos de movimentos. Ele esperava que tal generalização lhe “fornecesse de um só golpe a solução do problema da gravitação”.¹⁵ A essência da teoria da relatividade geral se encontrava, portanto, nesse pensamento, e o artigo de 1907 esboçava, em conclusão ao que fora exposto da teoria da relatividade restrita, o programa de sua pesquisa nessa direção.

É possível seguir quase que passo a passo seus esforços para realizar esse projeto até a instauração da teoria da relatividade geral no final do ano de 1915.¹⁶ Mencionemos aqui apenas, ainda que não o possamos detalhar, o primeiro “momento matemático” da invenção, que data de 1912: Einstein percebia então a insuficiência do espaço euclidiano e a necessidade de uma formalização matemática do problema da covariância geral sobre o modo do espaço-tempo (relativista) de Minkowski, estendido com a ajuda do cálculo tensorial absoluto de Ricci e Levi-Civita.¹⁷ Era-lhe agora necessário “criar pela matemática”,¹⁸ chegando às equações que em todos os pontos do espaço-tempo apresentavam a métrica não-euclidiana em função do campo de gravitação nesse ponto.

Reflexões de Einstein sobre o pensamento e sobre a criação científica

Einstein concebia a experiência da criação científica como uma forma particular da experiência mais geral do *pensamento*.

¹⁵ Einstein [1946].

¹⁶ Ver Pais [1981], e a coleção *Einstein Studies*, organizada por Don Howard e John Stachel (em particular Howard & Stachel [1989], Eisenstaedt & Kox [1992]).

¹⁷ Ver Paty [1993a], capítulo 5.

Segundo ele, o ato de “pensar” põe em jogo, além das imagens resultantes das impressões dos sentidos, os conceitos, “todo o nosso pensamento [sendo] um jogo livre com os conceitos”.¹⁹ Entretanto, embora o pensamento de um indivíduo se forme graças ao aprendizado e ao uso social das palavras,²⁰ ele julgava, por experiência própria, que o pensamento conceitual “se desenrola em larga medida sem fazer uso de signos (palavras)”. E também considerava, em consonância com o que dizia Poincaré sobre a invenção científica, que ele se efetua “de fato, num grau elevado, de maneira inconsciente”.²¹

Além disso, ele ligava o pensamento científico, seja em se tratando de sua formação no indivíduo ou da criação, à experiência do espanto, tal como ele relata ter experimentado na infância, aos quatro ou cinco anos de idade, ao ver girar a agulha de uma bússola; ou ainda, mais tarde, ao descobrir num livro as demonstrações da geometria de Euclides.²² O filósofo Baruch de Espinosa, cerca de três séculos antes, tivera uma experiência semelhante de iluminação de sua inteligência a propósito da média proporcional.²³

A experiência do conhecimento, para Einstein, era ao mesmo tempo a da aquisição da intuição:²⁴ a intuição física para aquilo que lhe dizia respeito, que constituía o que ele ainda denominava seu “instinto científico”, que ele evocava freqüentemente a propósito do sentido de tal conceito, assim como a propósito dos debates sobre a direção que deveria tomar, a seus olhos, a teoria física. Essa intuição, à qual ele requeria, desde seus anos de estudante, que “distinguisse claramente o que é importante do ponto de vista fundamental, por meio do que se pode assegurar as bases, daquele

¹⁸ Ver acima.

¹⁹ Einstein [1946], p. 6-7.

²⁰ Einstein [1941].

²¹ Einstein [1946], p. 6-7.

²² *Ibid.*, p. 8-11.

²³ Ver o seu *Breve tratado* (Espinosa [1656]). Cf. Paty [1986], p. 294.

resto de erudição mais ou menos supérflua”, opera na racionalidade, no estágio da invenção como no da avaliação e no da crítica (por exemplo, sobre a física quântica).²⁵ Em todo caso, antes da análise vem o estágio da *invenção* propriamente dita, onde a *intuição* desempenha o papel principal.

Trabalhar com as idéias é sempre, para Einstein, trabalhar com a racionalidade. Não se pode, no entanto, fazer da intuição, e da invenção na qual desempenha um papel tão grande, uma descrição normativa: ela advém da experiência singular, e se liga à atividade mental em geral. É uma visão imediata, a partir da qual se pode reconstituir logicamente as razões, mas que repousa sobre as experiências anteriores do pensamento, e os processos mentais relativos à atenção a um problema seguem geralmente um caminho indireto.²⁶ Sua experiência, acima evocada, mostra que o importante, neste sentido, é estar impregnado da consideração do problema, tê-lo volvido e revolvido até chegar a uma formulação racional que porte em si a virtualidade da solução.

Pois o pensamento é guiado por uma certa maneira de dispor seus elementos de informação: chegar à solução de um problema é formar uma imagem clara ao final do processo, escolhendo entre os elementos deixando-se guiar pela intuição. Vale o mesmo para os conceitos, que fazem o pensamento, e a partir dos quais se forma uma representação inteligível do mundo, e para as palavras da linguagem: tais signos são ligados às impressões sensíveis por certas regras, segundo uma correspondência relativamente estável.²⁷ Na ciência, o sistema de conceitos que visa a uma representação das experiências dos sentidos é, “no que concerne à lógica”, “um jogo livre com os símbolos segundo as regras do jogo

²⁴ Em alemão, “Einführung”. Einstein [1946c], p. 14-15.

²⁵ Paty [1994, a sair].

²⁶ Ver, para indicações detalhadas, Paty [1993]. p. 383.

²⁷ Einstein [1936, 1941].

dadas arbitrariamente (quanto à lógica)". O mesmo se pode dizer também sobre o "pensamento de todos os dias".²⁸

A experiência do pensamento dos conceitos, em particular do pensamento científico, faz intervir um pensamento ao mesmo tempo consciente e semiconsciente, para o qual o conceito funciona como um signo particular, sem se identificar a uma palavra. "Não é necessário", indica Einstein, "que um conceito seja relacionado a um signo (uma palavra) perceptível pelos sentidos e reproduzível; mas quando é o caso, o pensamento se torna comunicável". Para ele, o "pensamento se desenrola em larga medida sem fazer uso de signos (palavras), de fato, num grau elevado, de maneira inconsciente".²⁹

Analisando seu próprio caso, ele assinalou, ao responder ao questionário de Jacques Hadamard sobre "a psicologia da invenção no domínio matemático",³⁰ que "as palavras e a linguagem, escritas ou faladas, não parecem desempenhar o menor papel no mecanismo do meu pensamento".³¹ Sobre o funcionamento deste, ele ofereceu então as seguintes informações: "As entidades psíquicas que servem de elementos ao pensamento são certos signos ou imagens mais ou menos claras, que podem ser reproduzidas e combinadas 'à vontade'", e que estão em relação com conceitos lógicos do problema posto. A atividade mental, o "jogo bastante vago" sobre esses elementos ou signos (que, no caso, são "de tipo visual e às vezes motor"), é sustentada emocionalmente pelo "desejo de enfim atingir os conceitos logicamente relacionados", e o jogo sobre os elementos em questão "visa ser análogo a certas conexões lógicas que estamos

²⁸ Einstein [1944]. Ver a observação antes feita, no mesmo sentido, por Helmholtz, em texto de 1894 sobre "A origem e a interpretação correta das impressões dos nossos sentidos": "As imagens memorizadas das impressões dos sentidos podem tornar-se elementos na combinação de idéias, embora tais impressões não possam ser descritas pelas palavras, e portanto conceitualizadas" (ver Helmholtz [1971]).

²⁹ Einstein [1946].

³⁰ Hadamard [1945].

pesquisando”. Somente num estágio secundário, quando as associações encontradas entre os elementos são bastante estáveis e podem ser reproduzidas à vontade, partimos “a custo” em busca “de palavras ou outros signos convencionais” que possam exprimir a solução nos termos do problema.³²

O lingüista Roman Jakobson assinalou a concordância entre a descrição feita por Einstein do gênero dos signos que entram no processo de pensamento e aquela que ele mesmo poderia propor, a saber, que “os signos são um apoio necessário do pensamento”, e que “o pensamento interior, sobretudo quando é criador, prefere [à linguagem comum] os sistemas de signos que são mais flexíveis, menos padronizados do que a linguagem e que dão mais liberdade e dinamismo ao pensamento criador”.³³

Outros elementos sobre o tema filosófico da criação científica

O tema da criação científica, tal como o encontramos na experiência vivida de cientistas que também foram filósofos como Einstein (e como Poincaré), parece ligado, portanto, de um lado a processos de pensamento em que a racionalidade, mesmo se não for total, permanece essencial e passível de ser apreendida em diversas seqüências, entre uma problematização inicial e a obtenção de resultados e, de outro lado, a problemas epistemológicos fundamentais sobre a constituição e a natureza do conhecimento científico. É assim natural que esse tema pertença de direito ao domínio da investigação filosófica e que não possamos nos contentar em remetê-lo à psicologia ou ao estabelecimento de consensos sociais cristalizados em “paradigmas”.

Sobre o primeiro aspecto, mesmo nos momentos em que o fio de um raciocínio não se deixa ver, e quando ele se perde nos nós

³¹ Einstein [1945].

³² Einstein [1945].

³³ Jakobson [1980].

complexos que o pensamento parece vencer a saltos, tudo indica que a atividade inconsciente do espírito é dirigida por uma atenção, um esforço, uma vontade.

Poincaré atribuía ao inconsciente a tarefa de estabelecer as combinações de idéias que são úteis, por eliminação e por escolha.³⁴

O matemático Jacques Hadamard retomando, no seu livro sobre a “psicologia da invenção” no campo da matemática, uma comparação feita por Poincaré entre as idéias elementares se choqueando dentro da mente e os átomos entregues ao acaso, imaginou o espírito, em sua primeira reflexão sobre um problema, discutindo os elementos de idéias, e estes últimos, no período inconsciente, continuando seu percurso de maneira desordenada: “Essa desordem pode ter grande valor, porque os raros confrontos que são úteis, sendo de natureza excepcional e produzindo-se entre idéias que são muito afastadas, serão provavelmente os mais importantes”.³⁵ É uma imagem que se aproxima da idéia de parentescos profundos, mas não aparentes, entre elementos conceituais distanciados, que recobrem as analogias matemáticas no sentido desenvolvido em varias oportunidades por Poincaré. Elas serão aqui apreendidas em seu próprio movimento. A elegância matemática é a forma daquilo que dá, nos termos de Poincaré, a “harmonia” e a “beleza intelectual”,³⁶ que correspondem à instantaneidade da evidência, à qual se liga, afinal, para Poincaré bem como para Einstein, assim como para Descartes três séculos atrás,³⁷ a inteligibilidade.

Os psicólogos Paul Souriau e F. Paulhan, que se interessaram pela invenção, citados por Hadamard, defendiam a esse respeito pontos de vista contrários: Souriau considerava que

³⁴ Poincaré [1908c], *in* [1908a] ed. 1918.

³⁵ Hadamard [1945], ed. francesa, p. 52-53.

³⁶ “Le choix des faits”, *in* Poincaré [1908a], ed., 1918, p. 15-17.

³⁷ Paty, [no prelo, a].

ela se produzia por acaso,³⁸ enquanto Paulhan nela via, mais classicamente, o efeito da reflexão.³⁹ Para Hadamard, a atividade mental inconsciente, a seu ver essencial para o processo, não se efetua de modo algum por acaso: “A descoberta”, escreveu ele, “depende necessariamente da ação preliminar mais ou menos intensa do consciente”, assinalando o que Poincaré tinha dito sobre a ação diretora da consciência sobre o inconsciente, definindo “mais ou menos a direção geral na qual o inconsciente deve trabalhar”.⁴⁰

Essa diretividade do consciente sobre o inconsciente é traçada por outros filósofos nos termos mais precisos de um tipo de esquema geral dos processos do pensamento. Théodore Ribot propunha uma espécie de algebrização dos signos mentais em função do problema considerado em seus termos racionais: resolve-se um problema supondo-o já resolvido, e busca-se qual é a combinação de elementos que permite a solução: chega-se primeiro ao resultado, depois volta-se atrás para estabelecer o fio que a ele conduziu.⁴¹ Retomando essa idéia em sua reflexão sobre o “esforço intelectual”, Bergson acrescentou que “o todo se apresenta como um esquema”, e “a invenção consiste precisamente em converter o esquema em imagem”, e a imagem contém “os meios pelos quais o efeito foi atingido”.⁴² Transcrevendo nesses conceitos a observação do psicólogo Paulhan⁴³ de que a invenção literária e poética vai “do abstrato ao concreto”, Bergson escreveu que a invenção, artística ou científica, vai “do todo às partes e do esquema à imagem”.

Para Bergson, o esforço mental supõe “elementos intelectuais em vias de organização”, com uma tendência ao “monoideísmo”, que é um estado característico da atenção: a unidade (mas não a simplicidade) assim traçada é a de uma “idéia diretriz comum a um

³⁸ Souriau [1881].

³⁹ Paulhan [1904]

⁴⁰ Hadamard [1945].

⁴¹ Ribot [1900].

⁴² Bergson [1919], *in* [1959], p. 947.

⁴³ Paulhan [1901].

grande número de elementos organizados”. Ele acrescenta: “é a própria unidade da vida”. Esse esforço intelectual sobre as imagens que não têm em entre si senão “semelhança interior”, como uma “identidade de significação”,⁴⁴ lembra as analogias matemáticas de Poincaré.

Num sentido bem parecido, Emile Meyerson se interrogava sobre os esquemas que a razão segue ao constituir as imagens da realidade, tais como, por exemplo, as da física, ou pelo menos sobre as “tendências a que o espírito do pesquisador obedece”, e que “a razão procura fazer com que prevaleçam...”⁴⁵ Ele relacionava sua enquete à insuficiência das concepções apriorística e empirista no que concerne à aquisição das ciências, em particular da matemática, e ao conhecimento dos “verdadeiros domínios da reflexão matemática”. Se ele os via, por sua vez, num movimento do diverso em direção ao idêntico, isso não representa uma reconstituição ou uma redução às formas da racionalidade que nos parecem familiares com a ciência atual, e seu propósito de interrogar as formas históricas do conhecimento era similar, para ele, ao dos antropólogos que se preocupam em compreender a lógica própria da “mentalidade primitiva” (como os esquemas de participação de Lévy-Bruhl).⁴⁶ Sob a diversidade das formas de raciocínio ele descobria um esquema comum a qualquer pensamento humano. Seja qual for a teoria envolvida, o problema assim abordado fica posto.

As descrições dos filósofos mencionados – e singularmente as de Bergson – tendem então igualmente a mostrar a importância *epistemológica* dos processos do pensamento criador. (Não menciono aqui, referindo a outro trabalho, as concepções dos filósofos empiristas e pragmaticos como Ernst Mach, Charles S. Peirce e William James, que contribuem a questão da criação,

⁴⁴ Bergson [1919], *in* [1959], p. 958.

⁴⁵ Meyerson [1931], vol. 1, p. xix. Ver Meyerson [1921].

⁴⁶ Meyerson [1931], vol. 1, p. 81.

porém obviamente sem referência forte a racionalidade, e num cunho essencialmente psicológico⁴⁷). Afinal de contas, é por meio de tais criações que os objetos do pensamento são postos, como representações do mundo, por mais provisórias que sejam, e é também por isso que a ciência existe. Parece claro, deste modo, que não basta analisar as formas sob as quais ela é comunicada e ratificada, mas que também importa saber como os elementos do conhecimento surgem com a novidade daquilo que, até então inexistente, é, num certo momento, inventado e criado.

Bibliografia

- BERGSON, H.[1919]. *L'énergie spirituelle*, Alcan, Paris, 1919.
- _____ [1934]. *La pensée et le mouvant*, Alcan, Paris, 1934; in Bergson [1959], p. 1249-1482.
- _____ [1959]. *Oeuvres*. Edição do centenário, ed. por André Robinet, Presses Universitaires de France, Paris, 1959; 1963.
- BOUTROUX, É. [1874]. *De la contingence des lois de la nature*, Tese de doutorado, Paris, 1874; 6a ed., Alcan, Paris, 1908.
- BOUTY, E. [1908]. *La vérité scientifique. Sa poursuite*, Flammarion, Paris, 1908; 1920.
- EINSTEIN, A. [1920]. Grundgedanken und Methoden der Relativitätstheorie in ihrer Entwicklung dargestellt, manuscrito inédito (Biblioteca Pierpont Morgan, Nova York, cópia nos Arquivos Einstein). [Trad. ingl. inédita por J. Stachel, Fundamental ideas and methods of the theory of relativity presented in their evolution, gentilmente cedida pelo tradutor].
- _____ [1922]. How I created the theory of relativity (Conferência pronunciada em alemão na Universidade de Kioto, em 14 de dezembro de 1922). Texto em inglês a partir da transcrição japonesa in Jun Ishiwara, *Einstein kyozyu kôen-roko* (The record of professor Einstein's lectures, Tóquio, 1923; reimpr., Tóquio 1971); trad. por

⁴⁷ Paty [1999]. Veja, por ex. Mach [1905], Peirce [], James [1907, 1909, 1912, 1917].

Yoshimasa Ono, *Physics To day*, agosto de 1982; reprod. in Weart, S. & Philipps, M. (orgs.), *History of physics, Readings from Physics To day*, número 2, American Institute of Physics, Nova York, 1985, p. 243-245.

_____ [1933]. On the method of theoretical physics, The Herbert Spencer Lecture, Oxford, 10 de junho de 1933; reimpr. in Einstein [1954], p. 265-270. Original alemão, Zur Methodik der theorischen Physik, in Einstein [1934], ed. 1960, p. 113-119. Trad. fr., Sur la méthodologie de la physique théorique, in Einstein [1989-1993], vol. 5, p. 102-106.

_____ [1934]. *Mein Weltbild*, Querido, Amsterdam, 1934. Reedição [modificada e acrescentada de textos mais recentes], Herausgeben von C. Seelig, Europa-Verlages, Zurique, 1953; Ullstein Bücher, Berlim-Occidental, 1960.

_____ [1936]. Physik und Realität, *Franklin Institute Journal*, 221, 1936, 313-347. Trad. ingl., Physics and reality, *Franklin Institute Journal*, 221 1936, 349-382; Trad. fr., Physique et réalité, in Einstein [1989-1993], vol. 5, p. 125-151.

_____ [1941]. The common language of science [Gravação radiofônica de conferência científica, Londres, 28 de setembro de 1941], *Advancement of science* (Londres), 2, 1941, n° 5. Trad. fr., Le langage commun de la science, in Einstein [1989-1993], vol. 5, p. 169-170.

_____ [1944]. Bemerkungen zu Bertrand Russells Erkenntnistheorie, in Schilpp, Paul Arthur (ed.), *The philosophy of Bertrand Russell*, Northwestern University Press, Evanston (Ill.), 1944. Trad. fr., Remarques sur la théorie de la connaissance de Bertrand Russell, in Einstein [1989-1993], vol. 5, p. 107-111.

_____ [1945]. [Testimonial] in J. Hadamard, *An Essay on the psychology of invention in the mathematical field*, Princeton University Press, Princeton, 1945; republicado sob o título: A mathematician's mind, in Einstein [1954], p. 35-36. Trad. fr. [Lettre à Jacques Hadamard], in Hadamard [1945], ed. fr., p. 82-83.

_____ [1946]. Autobiographisches. Autobiographical notes (1946), in Schilpp, P.A. (ed), *Albert Einstein, philosopher and scientist*, The library of living philosophers, Open Court, La Salle (Ill.), 1949, p. 1- 95. Trad. fr.,

Eléments autobiographiques, in Einstein [1989-1993], vol. 5, p. 19-54.

_____ [1954]. *Ideas and Opinions*, trad. por S. Bergmann, Crown, Nova-York, 1954. Re-ed. Laurel, New-York, 1981 [edição utilizada].

_____ [1987-1998]. *The Collected Papers of Albert Einstein*, Edição de J. Stachel, M. Klein *et al.*, Princeton University Press, Princeton, Nova Jersey, 1987-1998, 8 vols. publicados.

_____ [1989-1993]. *Oeuvres choisies*, Trad. fr. pela equipe de trad. de l'ENS, Fontenay-St-Cloud *et al.*, edição publicada sob a dir. de F. Balibar. Seuil/ed. do CNRS, Paris, 6 vols., 1989-1993.

EINSTEIN, A. & BESSO, M. [1979]. *Correspondance 1903-1955*, publicada por P. Speziali, Hermann, Paris, 1972. [Textos originais e tradução francesa]. Nova ed., somente com a trad. fr., 1979.

EISENSTAEDT, J. & KOX, A. J. (eds.) [1992]. *Studies in the History of General Relativity*, Einstein Studies Series, 3, Birkhauser, Boston, 1992.

HADAMARD, J. [1945]. *An essay on the psychology of invention in the mathematical field*, Princeton University Press, Princeton (ICJ.), 1945. Trad. fr. por Jaqueline Hadamard, *Essai sur la psychologie de l'invention dans le domaine mathématique*, Gauthier-Villars, Paris, 1975.

HOWARD, D. & STACHEL, J. (eds.) [1989]. *Einstein and the History of General Relativity*, Einstein Studies Series, 1, Birkhauser, Boston, 1989.

JAKOBSON, R. [1980]. Einstein and the science of language, in Holton, Elkana [1982], p. 139-150. Trad. fr. por C. Malamoud: Einstein et la science du langage, *Le Débat*, 20, maio de 1980, 131-142.

JAMES, W. [1907]. *Pragmatism: a new name for old ways of thinking*, 1907. Trad. fr. por E. Le Brun e M. Paris, Prefácio de H. Bergson, *Le pragmatisme*, Flammarion, Paris, 1911.

_____ [1909]. *A Pluralist Universe*, Londres, 1909; trad. fr. por E. Le Brun e M. Paris, *Philosophie de l'expérience*, Flammarion, Paris, 1910.

- _____ [1912]. *Essays in Radical Empiricism*, 1912.
- _____ [1917]. *Selected Papers on Philosophy*, Dent & Sons, Londres, 1917; 1956.
- KANT, I. [1781, 1787]. *Critik der reinen Vernunft*, J.F. Hartknoch, Riga, 1781; 2a ed. modificada, 1787. Trad. fr. por A.J.L. Delamarre e F. Marty, *Critique de la raison pure*, in Kant, E., *Oeuvres philosophiques*, vol. 1, Gallimard, Paris, 1980, p. 705-1470.
- LALANDE, A. [1929]. *La théorie de l'induction et de l'expérimentation*, Boivin, Paris, 1929.
- _____ [1948]. *La raison et les normes*, Hachette, Paris, 1948.
- LE ROY, E. [1905]. Sur la logique de l'invention, *Revue de métaphysique et de morale*, março de 1905.
- MACH, E. [1883]. *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch Dargestellt*, Leipzig, 1883. Trad. fr., *La mécanique. Exposé historique et critique de son développement*, Hermann, Paris, 1904; reed., 1923.
- _____ [1886]. *Beiträge zur Analyse der Empfindungen*, Leipzig, 1886; *Contributions to the the analysis of the sensations*, trad. por C.M. Williams, Open Court, Chicago, 1897.
- _____ [1898]. *Popular scientific lectures*, trad. por T.J. McCormack, Chicago, Open Court, 1898.
- _____ [1905]. *Erkenntnis and Irrtum*, Leipzig, Barth, 1905; *La connaissance et l'erreur*, Trad. fr. por M. Dufour, Flammarion, Paris, 1908; 1922; *Knowledge and error*, trad. por T.J. McCormack, P. Foulkes, Dordrecht, Reidel, 1976.
- MEYERSON, É. [1921]. *De l'explication dans les sciences*, 2 vols., Payot, Paris, 1921.
- _____ [1931]. *Du cheminement de la pensée*, 3 vols., Alcan, Paris, 1931.
- MILLER, A.I. [1984]. *Imagery in scientific Thought. Creating 20th Century Physics*, Birkhauser, Boston, 1984.
- PATY, M. [1977]. *Théorie et pratique de la connaissance chez Jean d'Alembert*, Tese de doutorado em filosofia, Université des Sciences Humaines, Strasbourg 2, 1977.

_____ [1986]. Einstein and Spinoza, in M. Grene and D. Nails (orgs.), *Spinoza and the sciences*, Reidel, Dordrecht, 1986, p. 267-302.

_____ [1993]. *Einstein philosophe. La physique comme pratique philosophique*, Presses Universitaires de France, Paris, 1993.

_____ [1996a]. Poincaré et le principe de relativité, in Greffe, Jean-Louis; Heinzmann, G. e Lorenz, K. (orgs.), *Henri Poincaré. Science et philosophie. Science and philosophy. Wissenschaft and Philosophie*. Congrès international, Nancy, France, 14-18 mai 1984, Akademie Verlag, Berlin/Albert Blanchard, Paris, 1996, p. 101-143.

_____ [1996b]. Le style d'Einstein, la nature du travail scientifique et le problème de la découverte, *Revue philosophique de Louvain*, 94, 1996 (3, agosto), 447-470.

_____ [1999]. La création scientifique selon Poincaré et Einstein, in Serfati, Michel (éd.), *La recherche de la vérité*, Coll. "L'Écriture des Mathématiques", ACL-Éditions du Kangourou, Paris, 1999, p. 241-280. Trad. em português : A criação científica segundo Poincaré e Einstein, tradução de Sérgio Alcides, *Estudos Avançados* (São Paulo, Br), 15, n° 41 (jan-abr.), 2001, 157-192.

_____ [2005g]. Pensée rationnelle et création scientifique chez Poincaré, *Colloque Henri Poincaré "Science et pensée"*, Ecole des Mines, Sophia-Antipolis (lundi 17 janvier 2005).

_____ [no prelo, a]. *Einstein, les quanta et le réel. Critique et construction théorique*, no prelo.

PAULHAN, F. [1901]. *Psychologie de l'invention*, Paris, 1901.

PEIRCE, Ch. S. [1878-1879]. La logique de la science, *Revue Philosophique* (Paris), n° 6, déc. 1878 ; n° 7, janvier 1879.

_____ [1992]. *Reasoning and the logic of things*, Cambridge, Ma, 1992.

POINCARÉ, H. [1889]. Du rôle de l'intuition et de la logique en mathématiques, in *Comptes rendus du Deuxième Congrès International des Mathématiciens*, Paris, 1889, p. 115-130. Republicado em Poincaré [1913-1965], vol. 11, p. 129-133. Também publicado sob o título: La logique et l'intuition dans la science mathématique et dans l'enseignement,

L'Enseignement mathématique 1, 1889, 157-162. Republicado com modificações em Poincaré [1905], capítulo 1.

_____ [1902]. *La science et l'hypothèse*, Flammarion, Paris, 1902; 1968.

_____ [1905]. *La valeur de la science*, Flammarion, Paris, 1905; 1970.

_____ [1908a]. *Science et méthode*, Flammarion, Paris, 1908; 1918.

_____ [1908b]. Comment on invente. Le travail de l'inconscient, *Le Matin* (Paris), 24 de dezembro de 1908.

_____ [1908c]. L'invention mathématique, *Bulletin de l'Institut Général de Psychologie*, ano 8, 1908 (n° 3), 175-196 [Conferência pronunciada na Sociedade de Psicologia de Paris]. Iguamente, *L'enseignement mathématique* 10, 1908, 359-371; republicado em Poincaré [1908a], éd. 1918, p. 43-63.

_____ [1991]. *L'analyse et la recherche*, seleção de textos e introdução de Girolamo Ramunni, Hermann, Paris, 1991.

POPPER, Karl [1935]. *Logik der Forschung. Zur Erkenntnistheorie der modernen Naturwissenschaft*, Springer Verlag, Viena, 1934. Reed. com acréscimos, 1959; 1968. Trad. ingl., *The logic of scientific discovery*, 1959; 1968. Trad. fr. por Nicole Thyssen-Rutten e Philippe Devaux, *La logique de la découverte scientifique*, Payot, Paris, 1973.

_____ [1972]. *Objective knowledge, an evolutionary approach*, Clarendon Press, Oxford, 1972. Trad. fr. parcial por C. Bastyns, *La connaissance objective*, Complexe, Bruxelas, 1978.

REICHENBACH, H. [1938]. *Experience and prediction*, University of Chicago Press, Chicago, 1938.

REY, Abel [1907]. *La théorie de la physique chez les physiciens contemporains*, Alcan, Paris, 1907.

_____ [1911]. *La philosophie moderne*, Flammarion, Paris, 1911.

RIBOT, Théodule [1900]. *Essai sur l'imagination créatrice*, Paris, 1900.

SPINOZA, Baruch [v. 1656]. *Court Traité*, in Spinoza, *Oeuvres*, ed. e trad. por Charles Appuhn, vol. 1, Garnier-Flammarion, 1964.